

**П.Г. Плєшков, доц, канд. техн. наук, В.Ф. Мануйлов, ст. викл., І.В. Савеленко, ас.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Організація системи моніторингу силових трансформаторів

Моніторинг силових трансформаторів – одне з широко обговорюваних питань у колах експертів виробників трансформаторів та енергоспоживальних організацій, які експлуатують ці трансформатори. Різноманітні методи моніторингу[1] внесені до реєстру стандартів IEEE-standart C57.104.

Вартість методів моніторингу значно коливається в залежності від підходу побудови даних систем та вартості технічного обслуговування. Хоча й можливе часткове співпадіння функцій, методи, що пропонуються різними виробниками[1], можна поділити на чотири основні групи: датчики визначення газів у трансформаторному маслі; лабораторії, що використовуються на ділянках; системи моніторингу та керування; портативне обладнання.

Моніторинг - це постійний контроль за найбільш відповідальними або характеристичними параметрами працюючого устаткування під напругою в режимі on-line.

Оцінка фактичного стану силового електроустаткування [1] за наслідками діагностичних вимірювань є на сьогоднішній день складним і актуальним завданням. Значна частина устаткування виробила свій ресурс, але продовжує експлуатуватися через нестачу фінансових коштів. Внаслідок чого, з кожним роком, зростають витрати на проведення комплексних обстежень і діагностики.

Надійність і безперебійність роботи силових електротехнічних комплексів і систем багато в чому визначається роботою їх елементів. Основним із них є силові трансформатори. Хоча трансформатори з дефектами в активній частині можуть нормально експлуатуватися ще багато років, в місці утворення дефекту виникають процеси перенагріву, часткових розрядів (ЧР) в ізоляції, що приводить до погіршення результатів діагностичних вимірювань і аналізів. При подальшій експлуатації, у випадку виникнення КЗ, вірогідний аварійний вихід з ладу трансформатора з тяжкими наслідками.

Одним з перспективних напрямів підвищення ефективності функціонування електротехнічного маслonaповненого устаткування є вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів електроустаткування.

Розроблена концепція експлуатації електротехнічного устаткування [2] по технічному стану шляхом глибшого підходу призначенню періодичності і об'ємів технічних обслуговувань і ремонтів за наслідками діагностичних обстежень і моніторингу електротехнічного устаткування в цілому і маслonaповненого трансформаторного устаткування зокрема як невід'ємного елементу будь-якої електротехнічної системи.

При переході до системи ремонтів по технічному стану якісно змінюються вимоги до системи діагностування електроустаткування, при яких головним завданням діагностування стає прогноз технічного перебування на відносно тривалий період. Рішення такої задачі не є тривіальним і можливо тільки при комплексному підході до вдосконалення методів, засобів, алгоритмів і організаційно-технічних форм діагностування.

Визначення фактичного стану устаткування засноване на оцінці контрольованих параметрів [4], для яких визначаються аварійні рівні сигналу. Для оцінки робочих параметрів трансформатора створено модель контролю за температурними режимами трансформатора.

Математичну модель трансформатора  $W$  можна представити як:

$$W = \langle P, F \rangle, \quad (1)$$

$$\mathbf{P} = \{P_i \mid P_i \in \mathbf{P} \subset \mathfrak{R} \wedge P_i = P_i(\mathbf{F})\}, \quad (2)$$

$$\mathbf{F} = \{F_i \mid F_i \in \mathbf{F} \wedge F_i(\mathbf{P}) = \text{true}\}. \quad (3)$$

Модель, для контролю стану трансформатора може бути реалізована на базі однонаправленої функції  $F$ , що здійснює перевірочний розрахунок, перетворюючи деяку підмножину вхідних величин  $\tilde{\mathbf{P}}$ , що характеризують конструкцію трансформатора, в підмножину вихідних величин  $\hat{\mathbf{P}}$ , що характеризують параметри роботи трансформатора.

Таким чином, безліч  $\mathbf{P}$  є об'єднанням двох підмножин:

$$\mathbf{P} = \tilde{\mathbf{P}} \cup \hat{\mathbf{P}}. \quad (4)$$

У свою чергу, підмножина  $\tilde{\mathbf{P}}$  об'єднує підмножини фіксованих змінних  $\bar{\mathbf{P}}$  і варійованих змінних  $\tilde{\mathbf{P}}$ :

$$\tilde{\mathbf{P}} = \bar{\mathbf{P}} \cup \tilde{\mathbf{P}}. \quad (5)$$

Множина  $\hat{\mathbf{P}}$  складається з підмножин результуючих значень  $\mathbf{P}^=$  і необхідних значень  $\mathbf{P}^*$ :

$$\hat{\mathbf{P}} = \mathbf{P}^= \cup \mathbf{P}^*. \quad (6)$$

Завдання пошуку рішення полягає в тому, щоб визначити значення всіх змінних множини  $\tilde{\mathbf{P}}$  при фіксованих значеннях множини  $\bar{\mathbf{P}}$ , які б забезпечили збіг значень змінних множини  $\mathbf{P}^*$  з тими значеннями  $\mathbf{P}_0^*$ , які відповідають проектним даним при довільних значеннях змінних множини  $\mathbf{P}^=$ .

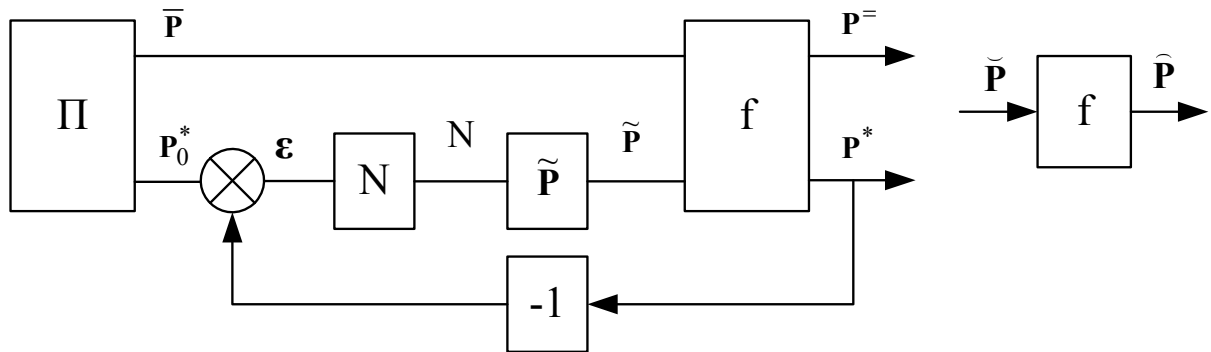


Рисунок 1 – Структурна схема підсистеми контролю стану трансформатора

Схема пошуку рішення представлена на рисунку 1. Параметри стану  $\Pi$ , які визначені значення змінних з множин  $\bar{\mathbf{P}}$  і  $\mathbf{P}_0^*$ . На кожному кроці пошуку розраховуються відхилення  $\varepsilon_i = P_{i0}^* - P_i^*$  і середньоквадратична нев'язність:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{N^*} \left( \frac{P_{i0}^* - P_i^*}{P_{i0}^*} \right)^2}{N^*}. \quad (7)$$

Завдання вважається вирішеним, якщо знайдений такий стан множини  $\tilde{\mathbf{P}}$ , при якому забезпечується рівність  $P^* = P_0^*$ . Пошук рішення здійснюється шляхом мінімізації не в'язкості (7) методом Девідона – Флетчера – Пауелла.

Проектна модель силового трансформатора використовується при управлінні системою охолодження.

З метою мінімізації погрішності розрахунку проводиться експериментальне уточнення коефіцієнта, що визначає тепловіддачу в навколишнє середовище. Для цього використовується підсистема моніторингу, що надає експериментальні дані про температуру верхніх шарів масла, температуру повітря і навантаження трансформатора для всіх комбінацій включення апаратів системи охолодження на вибраному відрізку часу.

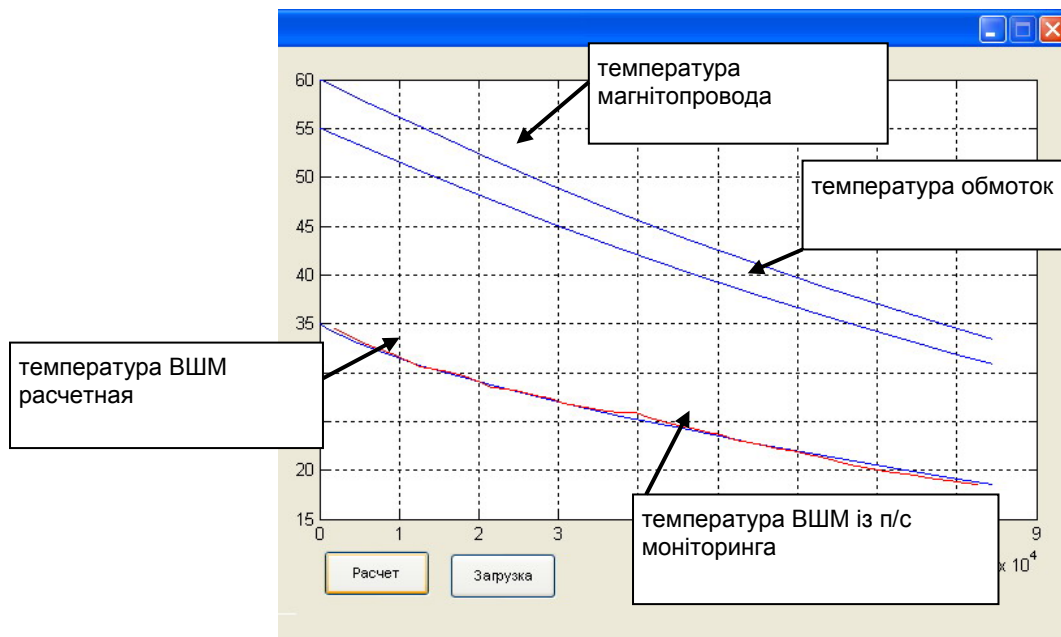


Рисунок 2 – Декілька кривих зміни температури побудовані на основі даних моніторингу

Для пошуку уточненого значення коефіцієнта тепловіддачі використовується декілька фрагментів кривої зміни температури у верхніх шарах масла у функції часу, побудованій на основі даних моніторингу. Для даного інтервалу часу формується система рівнянь (8). У неї підставляються реальні зміни в часі втрат трансформатора і температури навколишнього середовища за даний проміжок часу.

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\frac{b_1}{a_1}x_1 + \frac{b_1}{a_1}x_3 + \frac{P_1}{a_1}; \\ \frac{dx_2}{dt} = -\frac{b_2}{a_2}x_2 + \frac{b_2}{a_2}x_3 + \frac{P_2}{a_2}; \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{b_1}{a_3}x_1 + \frac{b_2}{a_3}x_2 - \frac{b_1+b_2+b_3}{a_3}(x_3 + t_e). \end{cases} \quad (8)$$

Для вирішення (8) необхідно знайти коефіцієнти  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  характеризуючі масогабаритні показники трансформатора  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  визначальні процеси теплопередачі, які можуть бути розраховані на підставі інформації, отриманої з проектною даних.

Пошук значення тепловіддачі реалізується методом змінної метрики. Як функція мети використовується середньоквадратична розбіжність між розрахунковою кривою, що отримується шляхом вирішення системи рівнянь (8), і реальної кривої в точках фіксації значень підсистемою моніторингу.

Отримані таким чином коефіцієнти тепловіддачі для різних режимів роботи системи охолодження є найбільш точними.

Основним завданням діагностичного контролю є запобігання аварійній відмові устаткування, визначення його стану і прогнозування залишкового ресурсу [5].

Діагностика силових трансформаторів є одним з основних напрямів в питаннях діагностики електроустаткування [6]. Ця обставина викликана високою вартістю трансформатора, його значимістю в питаннях надійності електропостачання споживачів, складністю визначення пошкоджень і дефектів на ранній стадії розвитку.

Особливий інтерес в питаннях діагностування виявляється до безконтактних методів [6] визначення термінів безаварійної експлуатації оскільки вони дозволяють виконувати контроль на працюючому устаткуванні. До таких методів відносяться: хроматографічний аналіз розчинених в маслі газів, акустичний контроль, тепловізійне діагностування [9].

Застосування тепловізійної діагностики засноване на тому, що деякі види дефектів високовольтного устаткування викликають зміну температури дефектних елементів і, як наслідок, зміну інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке може бути зареєстроване тепловізійними приладами.

Проведений аналіз науково-технічної вітчизняної і зарубіжної літератури показав, що робіт, безпосередньо присвячених моніторингу теплових полів [4, 6, 8] складних електротехнічних елементів і пристроїв ідентифікації на їх основі внутрішніх дефектів, що розвиваються, є невелика кількість. Не досліджені процеси розподілу теплових потоків з урахуванням динаміки хладагента, не визначені оціночні показники визначення внутрішньої абсолютної температури, не розглянуті питання визначення і ідентифікації внутрішніх пошкоджень трансформаторного устаткування.

Проведені раніше дослідження створили передумови для вирішення в повному об'ємі завдань ідентифікації внутрішніх порушень, що впливають на тепловий режим роботи устаткування, і визначення його місце розташування і абсолютної температури дефекту.

В даний час у зв'язку з достатньою розвиненістю автоматичних систем контролю всі частини функції контролю диференціюються таким чином: частина контрольних функцій покладається на автоматику і електроніку, що вивільняє персонал від рутинного стеження за нормативними параметрами, а контрольні заходи, що залишаються за персоналом, набувають більший діагностичний ухил. Головна спрямованість контрольних заходів - це встановлення відхилень у функціонуванні устаткування і їх причин з метою прогнозування можливості апарату виконувати покладені на нього функції і запобігання несподіваних відмов. Фактично, до вирішення завдань діагностичного контролю стану устаткування можна підходити двома шляхами:

— безперервним стеженням за найбільш відповідальними або характеристичними параметрами – моніторинг;

— епізодичним визначенням найбільш важливих параметрів - діагностичне обстеження.

Діагностичний контроль електротехнічного устаткування в експлуатації:

- діагностичне обстеження;
- фізико-хімічна діагностика;
- тепловізійна діагностика;
- електричні методи оперативної діагностики.

Основним завданням діагностичного контролю є запобігання аварійній відмові устаткування, визначення його стану і прогнозування залишкового ресурсу як одного з головних показників надійності.

Розрахунки показують[8], що приблизно 1,7 % автотрансформаторів 220 -500 кВ один раз в рік може піддаватися діям струму короткого замикання (СКЗ) з небезпечними кратностями. Не задовільняють умові електродинамічній стійкості СКЗ приблизно 10 - 15 % всіх трансформаторів енергосистеми, а для виготовлених до 1972 року, близько половини.

Основними причинами пошкоджень трансформаторів із-за дефектів, що розвиваються в процесі експлуатації є: ненадійність герметичних введень 110 - 500 кВ, ненадійність багатьох типів пристроїв регулювання під навантаженням (РПН), недостатня маслоплотність ущільнень і зварних швів, дефекти замочної арматури трубопроводів, низька динамічна стійкість обмоток, недоліки системи охолодження, ненадійність плівкового захисту, ненадійність підшипників маслонасосів і системи вентиляторів, місцеві перегріви бака і болтів роз'єму.

В умовах важких дій режиму роботи і дефектів, що розвиваються, в трансформаторі є стратегія обслуговування за станом устаткування. Досвід показує, що вивід в ремонт за наслідками оцінки стану дозволяє значно скоротити об'єм капітальних ремонтів.

Стратегія по стану включає проведення комплексних обстежень за оцінкою надійності устаткування з видачею рекомендацій по проведенню профілактичних і ремонтних робіт.

Важливу роль при цьому грає безперервний контроль над станом трансформатора під робочою напругою. Він може включати вимірювання перегрівів, часткових розрядів, виділення газів з масла і інших параметрів. Завдання продовження терміну служби устаткування може бути вирішена тільки при забезпеченні ефективного контролю стану устаткування на базі безперервного спостереження за параметрами, що відображають розвиток дефектів усередині трансформатора, періодичного контролю інших параметрів, обстежень, що включають докладний аналіз всіх можливих параметрів.

У сучасних розробках кінця 90-х років діагноста високовольтних апаратів підрозділяється на наступні види: періодичний контроль при виведеному устаткуванні з технологічної схеми (із зняттям напруги - off-line) і постійний контроль працюючого устаткування під напругою (моніторинг - on-line).

Застосування технічних засобів діагностування дозволяють за зарубіжними даними скоротити на 40% час технічного обслуговування електроустаткування, понизити вірогідність раптових пошкоджень приблизно в два рази і значно збільшити міжремонтні терміни.

Комплексна діагностика пошкоджень силових трансформаторів з використанням ряду параметрів і математична обробка результатів вимірювань дозволяють прогнозувати серйозні пошкодження в експлуатації, пов'язані з втратою осьової і радіальної стійкості обмоток [5], скручуванням і пошкодженням регулювальної обмотки, виляганням витків і ін.

Перед експлуатаційними службами постають питання обґрунтування продовження терміну служби тривало працюючого електроустаткування з погляду зниження вірогідності ризику його пошкодження.

Для аналізу надійності роботи трансформаторів в першу чергу необхідна наступна інформація:

- розподіл пошкоджень по основних вузлах трансформаторів різних класів напруги;
- характеристики тяжкості пошкоджень;
- частота пошкоджень залежно від терміну служби трансформаторів;
- причини і наслідки пошкоджень.

Основним параметром, що визначає безаварійну роботу трансформаторного устаткування, є геометрія обмоток, яка може змінюватися при протіканні струмів короткого замикання і приводити до деформацій обмоток, а надалі до віткових замикань, вибухів і пожеж з серйозними наслідками і збитком по недовідпущенню електроенергії.

## Список літератури

1. Построение схем мониторинга электрооборудования / Комков Е.Ю., Сизов О.Н., Капустин С.А. // Тезисы докладов международной научно-технической конференции: Состояние и перспективы развития электротехнологии. Т.2.– Иваново, 2005.

2. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Проблемы современного трансформирования в России /Электричество. – Москва, 2000. - №9.
3. Шутенко О.В. Исследование влияния загрузки трансформатора на состояние масла в процессе эксплуатации /Вестник НТУ «ХПИ». Электроэнергетика и преобразовательная техника. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. - №7.
4. Шутенко О.В. Формирование однородных массивов показателей качества трансформаторного масла в условиях априорной неопределенности результатов испытаний /Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - №4.
5. Бондаренко В.Е., Щапов П.Ф., Шутенко О.В. Повышение эффективности эксплуатационного измерительного контроля трансформаторных масел. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007.
6. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов /Электрические станции. - №11 - 2003.
7. Хренников А.Ю., Шлегель О.А., Запорожец М.И. Диагностика повреждений силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации на ТЭЦ Волжского Автозавода в г.Тольятти /Электрические станции, 1994.
8. Хренников А.Ю., Шлегель О.А. Диагностика повреждений и методика обработки результатов измерений силовых трансформаторов при испытаниях и в эксплуатации /Электротехника, 1997.
9. Хренников А.Ю., Передельский В.А., Сафонов А.А., Якимов В.А. Опыт диагностики дефектов и повреждений силовых трансформаторов, накопленный в ЗАО “ДИАРОСТ”// Сборник докладов Регионального Совета по диагностике электрооборудования при Уралэнерго. Екатеринбург, 16-17 сентября 2003. - бюл.19.

Одержано 08.06.10

**УДК. 378.147**

**І. О. Головко, викл., В.О. Гребенюк, викл.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Визнач свій власний навчальний стиль

Стаття містить дві анкети, які допоможуть обрати свій власний стиль у вивченні іноземних мов.  
**auditory learning style, visual learning style, kinesthetic learning style, multiple intelligence checklist**

Мета даної статті – допомогти студентам (і всім, хто вивчає іноземну мову) визначити свій власний навчальний стиль з тим, щоб вони усвідомили які індивідуальні природні можливості вони повинні оптимально використовувати у навчальному процесі, тобто адекватно діяти у навчальних ситуаціях, оскільки важливо зорієнтувати студентів в особливостях власної навчальної діяльності. Як свідчить практика спостереження за молоддю, у студентському віці вони прагнуть до всебічного розвитку своєї особистості. Цей факт дав підставу для науковців психолінгвістів не лише проаналізувати метакогнітивні стратегії власної навчальної діяльності індивідуума, а й скласти анкети, які допомагають виявити цей стиль. Аналіз результатів анкет детально розглянуто у попередній статті «Навчальні стилі у вивченні іноземних мов».

### **WHAT KIND OF LEARNER ARE YOU?**

**Directions.** Each person is unique. Each boy or each girl has not only his/her special appearance but also the unique style of learning. Someone likes learning by listening (auditory), someone likes learning by seeing (visual) or by doing (kinesthetic). What about you? Define your learning style. Choose the statement which is true about you.